[8] 振動と音

平田能睦 HIRATA Yoshimutsu

バネの振動を例に，音が空気中をどのように伝わるのかを説明します．また，共振と共鳴，人に聴こえない超音波と超低周波音を取り上げます．

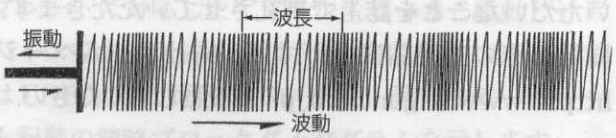
音は振動ですが，振動は音であるとは限りません．イチゴは果物ですが，果物がイチゴとは限らないのと同じです．では，どのような振動が音になるのでしょうか．

イギリスの科学者ロバート・ボイルは1660年，目覚まし時計を糸で吊るしてガラスビンの中に入れ，ビンの中の空気を抜き，セットした時刻にベルの打音がまったく聴こえないことを示して，音は真空を伝わらないということを証明しました．真空のビンの中に空気を少し入れると少し音が聴こえてきます．

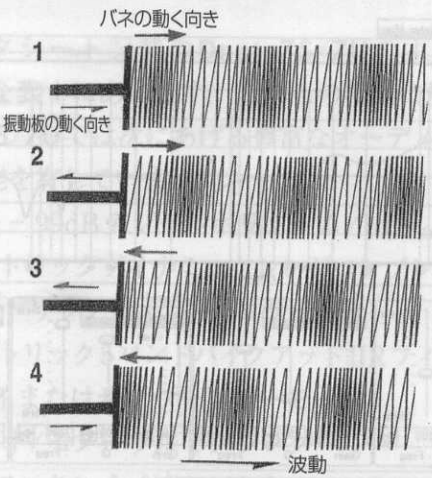
ボイルの実験は，今でも子供たちの興味をひくでしょう．でも，次の質問が出てくるかもしれません．「ベルが振動するとなぜ音になるの？」．実験を変える必要があります．

バネを伝わる振動

バネの端をしっかり持って左右に振動させると，



［図1］疎密波となってバネに伝わっていく振動



［図2］疎密波の発生．1は中間の状態，2は疎の発生，3は中間の状態，4は密の発生

バネの伸びたり縮んだりする動きが波となって伝わっていきます（図1）．伸びたところを疎，縮んだところを密とし，端に加えられた振動によってバネに生じた波動，これを疎密波といいます．伸びたところを空気の膨張，縮んだところを空気の圧縮部分とすれば，音波はバネを伝わる疎密波のように空気を伝わって進んでいきます．

振動から音が生まれる瞬間を詳しく見ることにしましょう．空気は見えないのでバネを使います．振動板とバネの接合部が音の生まれるところです．

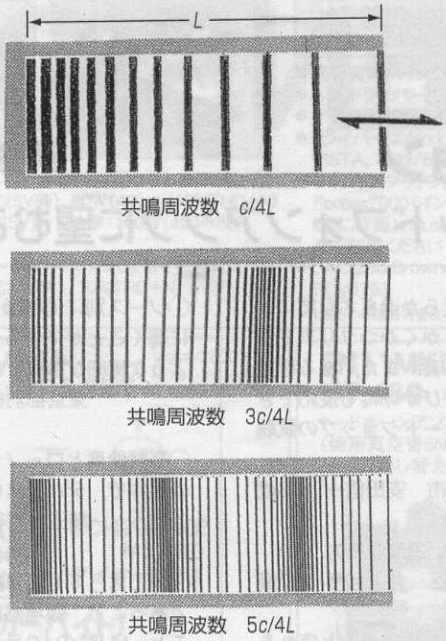
左右に振動している振動板が右に動いているとき，バネも同じように右に動いていますが，振動板が右に最大に振れて左に向かい始めるときは，バネの振動板に近い部分は慣性（すぐに止まれない物理特性）により，右に動こうとします．こうして振動板が右に最大に振れたときにバネに伸びが生じます．同じようにして，振動板が左に動いて左に最大に振れたとき，こんどはバネに縮みが生じます．

このようにして生じたバネの伸びと縮みは，すぐ隣の部分が左に，次いで右に動くことによって元の状態に戻されますが，この動きはさらに隣の部分に伸びと縮みを生じます．こうして伸びと縮みが次々とバネを伝わっていきます（図2）．

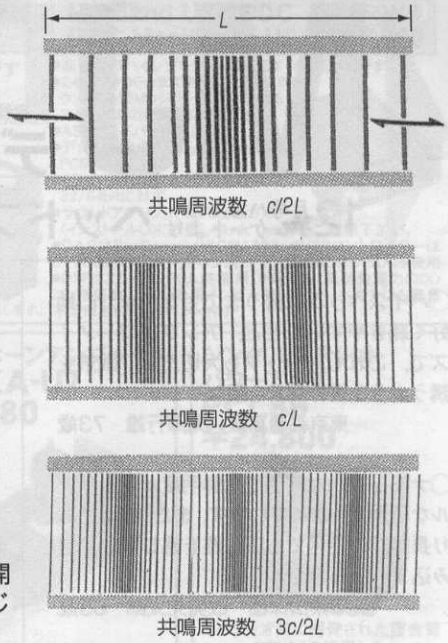
バネを空気に変えて振動板をスピーカーのコーン紙（cone：円錐形）にすると，上記のバネの伸びと縮みは空気の膨張と圧縮になり，バネを伝わる疎密波は空気を伝わる音波になります．

バネを伝わる波動はスローモーションの映像を見ているようです．子供は大喜びしていつまでたっても止めさせてくれません．バネを動かす手は疲れはてることでしょう．この波動のエネルギーはどれほどのものになるでしょうか．

10W（ワット）の電球では本を読むには暗すぎます．オーケストラがかなり大きな音を出していても，その音のエネルギーは電力で表すと数Wにしかなりません．大声で話して疲れても音声そのもののエネルギ



[図5] 一端が開いている管で生じる共鳴．線の密度の大きいところはバネ，密度の小さいところは質量として働く



[図6] 両端が開いている管で生じる共鳴

さ，形，それが餌であるかどうかを識別します．コウモリが音でものを見分けることをスパランツァーニが発見したのは今から200年ほど前のことです．超音波の存在が知られていなかった時代に，そのことを認めてもらうのは難しかったでしょう．

コウモリの音波探知システムについて，科学的なメスが入れられたのは近年になってからです．1938年，グリフィンは超音波でものを探知するコウモリの能力を研究して，これをエコーロケーション（反響定位）と呼びました．人間がレーダーシステムやソナーシステムを考案するよりはるか昔から，コウモリやイルカは優れたシステムを使っています．

コウモリは暗闇で餌をとれるように耳を進化させたと説明する学者もいますが，進化させるまで何を食べていたのでしょうか？　音でものを「見る」ように耳を進化させるよりは，暗闇で目を訓練するほうがはるかに容易だとは考えなかったのでしょうか．

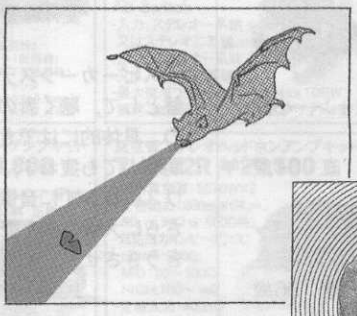
興味深いことにコウモリの補食生物であるガのある種類のものは，超音波を発してコウモリが近付いてくると，その探知システムを撹乱する超音波を出して逃れます．そのガはいつから，どのようにして撹乱装置を進化させたのでしょうか？　生物に見られる優れた仕組みを知ると，次から次へと疑問が出てくることでしょう．

聴こえない音，超低周波音

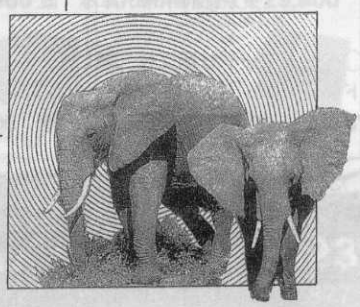
人間の耳に聴こえる音の周波数の下限はおよそ20Hzです．これより低い周波数の音を超低周波音いいます．犬は15Hzまで聴き取ることができますが，猫は60Hzまでです．

世界野生生物基金の会報『フォーカス』によると，象は超低周波音で互いに連絡を保つことが知られた最初の陸生哺乳動物です．象は何km離れていてもすぐにお互いを見つけますが，それは科学者たちの長年の謎でした．人間には不可聴音ですが，超低周波音は樹木などに遮られることなく非常に遠くまで伝わります．2004年12月，スマトラ沖の地震で発生した巨大津波によって大勢の人が犠牲になりましたが，一群の象は津波の来襲をあらかじめ察知して海岸を離れていきました．沖から来る超低周波音を聴いて避難したようです．

海面が広い範囲で振動板のように動くと，それによって超低周波の音が発生します．音の伝わる速度は1秒間に約340mで，津波よりもはるかに速く遠方に達します．それを聴き取ることができたのは象だけだったようです．



[図7] 人間の耳には聴こえない超音波を発して餌を捕らえるコウモリ



[図8] インド象やアフリカ象は不可聴音（超低周波音）の声を使い，遠方の仲間と連絡をする